



## Teores de metais pesados em cambissolo irrigado com água residuária doméstica e água de poço

doi: 10.4136/ambi-agua.1309

Received: 09 Feb. 2014; Accepted: 24 May 2014

Adriana de Fátima Mendes Oliveira<sup>1</sup>; Fabrícia Gratyelli Bezerra Costa Fernandes<sup>1</sup>;  
Rafael Oliveira Batista<sup>1\*</sup>; Luiz di Souza<sup>2</sup>; Marcelo Tavares Gurgel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, Brasil  
Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas (DCAT)

<sup>2</sup>Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), Natal, RN, Brasil  
Departamento de Química

\*Autor correspondente: e-mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br,  
oliveira.adrianamendes@gmail.com, fabricia\_gratyelli@hotmail.com,  
luzuern@bol.com.br, marcelo.tavares@ufersa.edu.br

### RESUMO

O aporte de nutrientes das águas residuárias doméstica estimula a prática do reuso na produção agrícola, porém a presença de metais pesados, mesmo que em baixas concentrações, pode acarretar problemas ambientais no longo prazo. O presente trabalho objetivou analisar os efeitos da aplicação da água residuária doméstica e água de poço na alteração dos teores de metais pesados em um cambissolo cultivado com pimenta malagueta. Para isso, uma área experimental de 744 m<sup>2</sup> foi montada no assentamento Milagres em Apodi-RN. Essa área é composta de estação de tratamento de esgoto e de sistema de irrigação por gotejamento. Os tratamentos utilizados foram T1 - 100% de aplicação água residuária doméstica tratada (ART) e 0% de água de poço (AP), T2 - 75% de ART e 25% de AP, T3 - 50% de ART e 50% de AP, T4 - 25% de ART e 75% de AP e T5 - 0% de ART e 100% de AP. No período experimental foram realizadas análises químicas da ART e AP, enquanto do solo foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40 a 0,60 m para determinação dos valores de pH e do conteúdo de cobre, zinco, ferro e manganês. Os resultados indicaram que os teores de cobre, zinco, ferro e manganês do cambissolo não foram influenciados pelas proporções de água residuária doméstica tratada e de água de poço. Os valores de pH do solo apresentaram tendência de redução nas proporções com mais água residuária doméstica tratada em relação a água de poço.

**Palavras-chave:** efluente, reuso, elementos traço.

### Heavy metal contents in irrigated cambisoloil with domestic wastewater and well water

### ABSTRACT

The supply of nutrients from domestic wastewater encourages the practice of reuse in agricultural production, but the presence of heavy metals, even at low concentrations, can cause environmental problems in the long term. This study analyzed the effects of the

application of domestic wastewater and well water on heavy metal levels in a cambisol cultivated with chili peppers. Thus, an experimental area of 744 m<sup>2</sup> was established in Milagres rural community, Apodi-RN. This area is comprised of a sewage treatment station and drip irrigation system. The treatments were T1 - 100% of treated domestic wastewater (ART) and 0% of well water (AP), T2 - 75% of ART and 25% of AP, T3 - 50% of ART and 50% of AP, T4 - 25% of ART and 75% of AP and T5 - ART 0% of ART and 100% of AP. During the experimental period we chemically analyzed ART and AP, while soil samples were collected in the layers 0 to 0.20 m, 0.20 to 0.40 m and 0.40 to 0.60 m for determination of pH and the content of copper, zinc, iron and manganese. The results indicated that the levels of copper, zinc, iron and manganese on cambisol were not influenced by the proportions of domestic treated wastewater and well water; however, the soil pH decreased as the proportions of domestic treated wastewater increased as compared to well water.

**Keywords:** effluent, reuse, trace elements.

## 1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é caracterizado por apresentar um curto período chuvoso, temperatura elevada e alta taxa de evaporação. Quanto à quantidade de água no solo disponível às plantas, nessa região, registra-se uma deficiência hídrica na grande maioria dos meses do ano (Brasil, 2012). Além disso, o esgotamento sanitário inadequado ou inexistente afeta diretamente a saúde e as condições de vida das populações, nos quais as doenças infecciosas continuam sendo uma importante causa de mortalidade (IBGE, 2010).

O reuso planejado de águas residuárias domésticas na agricultura consiste em uma medida para atenuar o problema da escassez hídrica no semiárido, sendo uma alternativa para os agricultores localizados especificamente nas áreas circunvizinhas dos centros urbanos e nas áreas rurais. No entanto, as águas residuárias tratadas e destinadas ao uso agrícola devem ser avaliadas sob os aspectos de sodicidade, salinidade, excesso de nutrientes e, sobretudo, sob os aspectos sanitários que criam graves problemas de saúde pública, uma vez que acarretam enfermidades (Hespanhol, 2008).

Deve-se enfatizar que são vários os benefícios do uso das águas residuárias domésticas na agricultura por terem em sua composição água e nutrientes que promovem: a substituição parcial de fertilizantes químicos, minimizando a degradação ambiental em função da redução do lançamento de resíduos nos corpos hídricos; aumento na produção agrícola tanto qualitativo quanto quantitativo; economia da quantidade de água direcionada para a irrigação, que pode ser utilizada para fins mais nobres, como o abastecimento público; e a melhoria das condições físicas do solo pela adição da matéria orgânica, ao mesmo tempo em que se minimiza o problema da disposição final de águas residuárias (Hespanhol, 2003).

No entanto, a utilização de águas residuárias domésticas na irrigação de culturas agrícolas pode acarretar alterações físicas, químicas e microbiológicas no solo; proporcionar contaminação tanto do produto agrícola quanto do produtor rural e danificar os equipamentos utilizados na aplicação dessas águas residuárias (Fonseca et al., 2007; Batista et al., 2010). Léon Suematsu e Cavallini (1999) afirmaram que a utilização de esgoto sanitário tratado como fonte de nutrientes, traz benefícios ao meio ambiente e ao produtor rural, que irá reduzir seus custos com aplicação de fertilizantes e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas. Al-Nakshabandi et al. (1997) constatou aumento nas concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, sódio, cálcio e magnésio, nas folhas e nos frutos de berinjela, em razão da fertirrigação com esgoto sanitário tratado. Os mesmos autores verificaram aumento, porém irrisório, nos teores de zinco, manganês, cádmio, cromo e chumbo, nas folhas.

Diante do exposto, este trabalho objetivou analisar a alteração nos teores de metais pesados de um cambissolo cultivado com pimenta malagueta e irrigado com água residuária doméstica tratada e água poço.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios experimentais foram conduzidos de março de 2012 a agosto de 2012 no Projeto de Assentamento Rural Milagres na Chapada do Apodi em Apodi-RN (latitude: 5° 37' 38'' S; longitude: 37° 49' 55'' W; e altitude de 150 m). A região apresenta clima muito quente e semi-árido, conforme a classificação climática de Köppen.

Nos últimos 15 anos o solo das áreas comunitárias do assentamento Milagres foi explorado com a produção intensiva do algodoeiro e as criações de bovinos e caprinos. O solo da área experimental do Assentamento Milagres foi classificado como Cambissolo TA Eutrófico Típico, conforme as normatizações da Embrapa (2006). Na Tabela 1 estão apresentadas as características físico-químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40 a 0,60 m.

**Tabela 1.** Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento antes da aplicação da água residuária doméstica tratada.

Camada no perfil do solo (m)	pH	MO g kg <sup>-1</sup>	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	N	B	Cu	Zn	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	m
0 a 0,20	6,7	1,8	7,7	138	125	0,25	0,3	0,7	3,1	2,1	0,6	0,0	3,05	4,04	0
0,20 a 0,40	7,2	1,2	1,4	106	120	0,20	0,2	0,9	0,5	1,8	0,6	0,0	2,67	3,17	0
0,40 a 0,60	6,5	1,1	0,7	134	118	0,18	0,3	0,5	0,4	3,5	1,3	0,0	5,14	5,14	0

Camada no perfil do solo (m)	Densidade do solo g cm <sup>-3</sup>	Areia	Silte	Argila	Umidade (%)	
					0,01 MPa	1,5 MPa
0 a 0,20	1,80	0,83	0,07	0,10	28,6	6,2
0,20 a 0,40	1,69	0,55	0,07	0,38	18,2	12,2
0,40 a 0,60	1,73	0,47	0,06	0,47	18,0	12,7

**Nota:** MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; e m = saturação por alumínio.

O assentamento possui 107 habitantes que ocupam 28 residências, produzindo diariamente um volume de 16 m<sup>3</sup> de água residuária doméstica. Ressalta-se que o assentamento dispõe de rede coletora de água residuária doméstica para todas as residências, tendo o ramal domiciliar com diâmetro nominal de 100 mm e as tubulações primária e secundária com diâmetro nominal de 150 mm. Para o tratamento primário da água residuária doméstica canalizada foi instalado um decanto-digestor (tanque séptico mais dois filtros anaeróbios), sendo a disposição final da água residuária doméstica primária feita via sistema de irrigação por gotejamento visando a fertirrigação de cultivos agrícola de interesse aos assentados.

O decanto-digestor foi construído em alvenaria de tijolos maciços com revestimento interno e externo contendo agente impermeabilizante para evitar infiltrações e vazamentos. O tanque séptico e os filtros biológicos foram dimensionados seguindo as recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993), tendo as dimensões de 4,0 m de largura, 8,0 m de comprimento e 1,80 m de profundidade. Adotou-se no dimensionamento a profundidade útil de 1,30 m, o detalhamento do sistema do sistema foi o seguinte: a) Um tanque séptico com duas câmaras, medindo de 2,0 m de largura por 7,6 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, tempo de detenção hidráulica de 12 horas, frequência para remoção do lodo a cada dois anos,

ocupando um volume de aproximadamente 20 m<sup>3</sup> responsável por proporcionar a remoção de sólidos decantáveis, areia e material gorduroso da água residuária doméstica, efetuando o tratamento denominado preliminar/primário. A divisória entre as câmaras do tanque séptico foi implantada a 2/3 do seu comprimento interno, ou seja, a 5,4 m do ponto de entrada da água residuária doméstica. Para a passagem do efluente de uma câmara para outra foram construídas cinco aberturas, cada uma com dimensões médias de 0,20 m de largura por 0,50 m de altura; e b) Dois filtros anaeróbios de fluxo descendente, cada uma nas dimensões de 1,0 m de largura por 6,0 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, ocupando os dois um volume de 16,0 m<sup>3</sup>. Os filtros anaeróbios foram preenchidos, internamente, com tijolos cerâmicos de oito furos para auxiliar na formação de biofilme para degradação de poluentes químicos e orgânicos presentes no efluente. O tempo de detenção hidráulica estimado para cada filtro foi de duas horas.

Esse sistema foi montado em uma área de 744 m<sup>2</sup>, sendo destinada ao cultivo da pimenta malagueta. Como a água residuária doméstica foi submetida somente ao tratamento primário, ressalta-se que existe o risco microbiológico do efluente; nesse caso optou-se pela instalação de cerca ao redor da área experimental tendo restrito acesso ao público.

A aplicação das proporções de água residuária primária e da água de abastecimento foi realizada por um sistema de irrigação por gotejamento automatizado constituído de: a) Dois reservatórios de 10 m<sup>3</sup> para armazenamento da água residuária primária e da água de abastecimento, ambos construídos com concreto armado nas dimensões de 3,5 m de diâmetro por 1,0 m de profundidade; b) Duas unidades de recalque dotadas de motobombas com potência de 1,5 cv e filtro de discos com aberturas de 130 µm; c) Cinco unidades de irrigação por gotejamento para aplicação das proporções de água residuária doméstica e água de abastecimento, dotadas de emissores não-autocompensantes de 1,6 L h<sup>-1</sup> de vazão nominal e espaçamento entre emissores de 0,30 m.

A água residuária doméstica tratada pelo decanto-digestor foi armazenada em reservatório de 10 m<sup>3</sup>, para posterior aplicação pelo sistema de irrigação por gotejamento. Enquanto, a água de abastecimento utilizada no experimento foi proveniente de um poço com 150 m de profundidade dotados de bomba submersa multiestágios com potência de 9,0 cv.

Os tratamentos consistiram na aplicação da água residuária doméstica primária (ART) e água de poço (AP) com cinco proporções (T1 - 100% de ART e 0% de AP; T2 - 75% de ART e 25% de AP, T3 - 50% de ART e 50% de AP, T4 - 25% de ART e 75% de AP e T5 - 0% de ART e 100% de AP). Para análise dos dados de solo, o experimento foi montado no esquema de parcelas subdivididas tendo nas parcelas os tratamentos, nas subparcelas as profundidades de amostragem (0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40m a 0,60m) e nas subsubparcelas os tempos de amostragem (0, 34, 68 e 102 dias). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com cinco repetições.

A cultura utilizada nos ensaios experimentais foi a pimenta malagueta, sendo transplantada no dia 14 de março de 2012. O espaçamento utilizado no experimento foi de 1,0 m entre fileiras de plantas por 0,30 m entre plantas. As parcelas experimentais foram constituídas de cinco fileiras de plantas de 2,5 m sendo duas bordaduras e as fileiras centrais a parcela útil, totalizando 25 parcelas de 12,5 m<sup>2</sup> (Figura 1). Foram realizadas capinas manuais para que o experimento ficasse ausente de plantas que competissem pelos nutrientes. A necessidade hídrica da pimenta malagueta foi estimada com base no balanço de água no solo e na evapotranspiração de referência pela metodologia da FAO empregando a equação de Penman-Monteith (Allen et al., 2006). Durante o experimento com pimenta malagueta aplicou-se uma lâmina bruta de irrigação de 692 mm com as distintas proporções de água residuária doméstica tratada e água de poço.

No período de 25 de abril a 25 de julho de 2012, foram realizadas, no experimento, quatro amostragens tanto da água residuária doméstica tratada quanto da água de poço

seguindo as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2012). Para caracterização química da água residuária doméstica, amostras foram coletadas e preservadas em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4°C até a entrada nos laboratórios. Em seguida, essas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) onde foram realizadas análises de: pH, condutividade elétrica, cobre, zinco, ferro e manganês.

No Cambissolo da área experimental foram coletadas amostras compostas com auxílio de trado tipo holandês, nos tempos de avaliação de 0, 40, 67 e 102 dias após o transplante da pimenta malagueta, sendo a amostragem realizada em média a cada 34 dias para caracterização dos valores de pH, cobre, zinco, ferro e manganês seguindo as recomendações da Embrapa (Embrapa, 1997). Essas amostras foram coletadas em cada uma das 25 parcelas cultivadas com a pimenta malagueta e fertirrigadas com as distintas proporções de esgoto doméstico primário e de água de abastecimento nas camadas do perfil do solo de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40m e 0,40 a 0,60 m. Foram coletas quatro amostras simples de solo em cada parcela, próximas a faixa molhada do sistema de irrigação por gotejamento, nas três camadas do perfil do solo. Para cada profundidade foi obtida uma amostra composta resultante da mistura das quatro amostras simples. Em seguida, encaminharam-se as amostras compostas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se, na Tabela 2, o valor médio e o desvio padrão das características químicas de quatro amostragens de água residuária doméstica primária e da água de poço realizadas durante o período experimental.

**Tabela 2.** Valor médio e desvio padrão das características químicas de quatro amostragens de água residuária doméstica primária (ART) e água de poço (AP), realizadas no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012.

Características	ART	AP
pH	7,30 ± 0,15	6,92 ± 0,17
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	0,98 ± 0,13	0,08 ± 0,01
Ferro total (mg L <sup>-1</sup> )	0,42 ± 0,13	0,21 ± 0,11
Manganês total (mg L <sup>-1</sup> )	0,09 ± 0,06	0,05 ± 0,03
Zinco (mg L <sup>-1</sup> )	0,097 ± 0,03	0,13 ± 0,12
Cobre (mg L <sup>-1</sup> )	0,02 ± 0,03	0,02 ± 0,03

Na ART o valor médio do pH encontram-se dentro da faixa de 5 a 9 estabelecida pela Resolução Conama n° 430/2011 para lançamento de água residuária doméstica tratada em corpos hídricos receptores (Brasil, 2011b). Além disso, esse valor médio foi superior ao pH de 6,81 obtido por Moura et al. (2011) em água residuária doméstica tratada com tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar, onde houve uma ligeira acidificação do efluente em função do tratamento anaeróbio. Com relação ao risco de obstrução de gotejadores, o pH de ARP foi classificado como moderado, pois encontrou-se dentro da faixa de 7,0 a 7,5 estabelecida por Nakayama et al. (2006). O valor médio do pH de AP, durante o período experimental, enquadra-se na faixa de 6,0 a 9,5 estabelecido pela Portaria MS n° 2914/2011 (Brasil, 2011a) que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. De acordo com Nakayama et al.



(2006), o valor médio do pH de AP foi menor que 7,0 sendo o risco de obstrução de gotejadores classificado como baixo.

O valor médio da condutividade elétrica de ART foi inferior ao limite de  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  proposto para uso agrícola de água residuária (Ceará, 2002). Esse resultado difere do valor de  $1,05 \text{ dS m}^{-1}$  obtida por Moura et al. (2011) no tratamento de esgoto doméstico com tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. A condutividade elétrica média de ART apresentou risco moderado de obstrução de gotejadores dentro da faixa de  $0,8$  a  $3,1 \text{ dS m}^{-1}$  (Capra e Scicolone, 1998). Com relação à condutividade elétrica de AP, o seu valor médio atendeu ao padrão de potabilidade previsto na Portaria MS nº 2914/2011 (Brasil, 2011a), sendo inferior ao limite de  $1,57 \text{ dS m}^{-1}$ . Além disso, a condutividade elétrica média da água de abastecimento indica baixo risco de obstrução de gotejadores, por ser inferior ao limite de  $0,8 \text{ dS m}^{-1}$  (Nakayama et al., 2006).

O valor médio do ferro total presente na ART encontra-se dentro da faixa de  $0,2$  a  $1,5 \text{ mg L}^{-1}$  estabelecida por Nakayama et al. (2006) que classifica o risco de obstrução de gotejadores como moderado. Tal valor médio atende aos padrões de lançamento de água residuária tratada em corpo hídrico, onde o limite máximo é de  $15,0 \text{ mg L}^{-1}$  (Brasil, 2011b). Na AP a concentração média de ferro encontra-se na faixa de  $0,2$  a  $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ , classificando o risco de obstrução de gotejadores como moderado. O valor médio do ferro foi inferior a  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$  não contribuindo para a acidez e a indisponibilidade do fósforo e do molibdênio (Ayers e Westcot, 1999). Em relação à potabilidade da água, o ferro é uma característica organoléptica, pois altera sua coloração. De acordo com a Portaria MS nº 2914/2011 (Brasil, 2011a), a concentração média de ferro foi inferior ao limite de  $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ , indicando a potabilidade dessa água.

A concentração média de manganês na ART foi inferior ao limite de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  estabelecido para o lançamento de águas residuárias em corpo hídrico receptor (Brasil, 2011b). Além disso, a concentração média de manganês na ART foi menor que  $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ , não representando riscos de toxicidade para cultivos agrícolas obtidos em solos ácidos. O manganês representa baixo risco de obstrução de gotejadores, pois o seu valor médio na ARP foi inferior ao limite de  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$  (Nakayama et al., 2006). O teor médio do manganês na AP foi menor que  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo classificado como baixo o risco de obstrução de gotejadores. Segundo Ayers e Westcot (1999), concentrações de manganês menores que  $0,20 \text{ mg L}^{-1}$  não ocasionam problema de toxicidade à plantas. De acordo com a Portaria MS nº 2914/2011 (Brasil, 2011a), a concentração média de manganês foi menor que o limite de  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ , indicando a potabilidade dessa água.

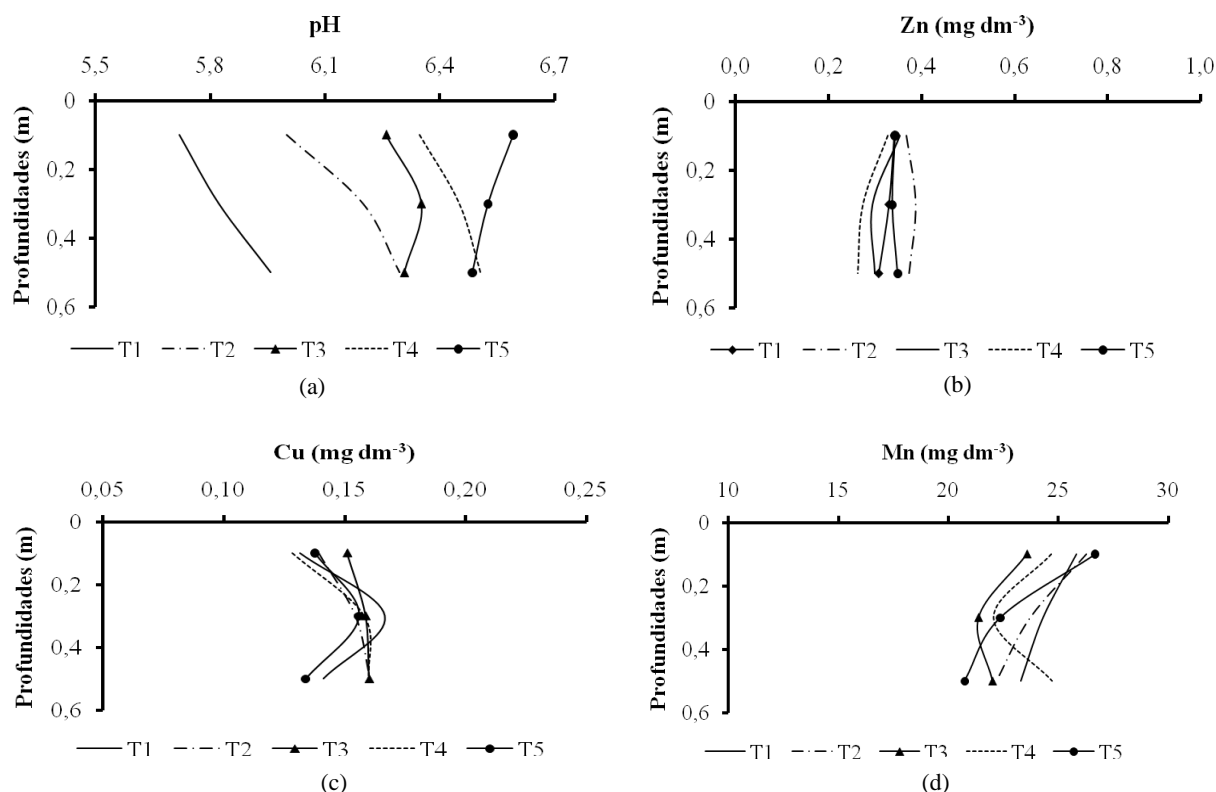
Na ART a concentração média do zinco foi menor que  $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ , não representando toxicidade para plantas em solos com pH superior a 6,0 e com textura fina. De acordo com Brasil (2011b), o valor médio de zinco é inferior ao limite de  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$  estabelecido para lançamento de água residuária tratada em corpos hídricos receptores. O valor médio do cobre na ART foi inferior ao limite de  $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ , não sendo tóxico para plantas em soluções nutritivas. Segundo Brasil (2011b), o valor médio de cobre é inferior ao limite de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  estabelecido para lançamento de água residuária tratada em corpos hídricos receptores. As concentrações médias de cobre e zinco na AP foram inferiores aos limites de  $2,0 \text{ mg L}^{-1}$  e  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$  estabelecidos na Portaria MS nº 2914/2011 (Brasil, 2011a).

Houve aumento dos valores de pH, Zn, Cu e Mn nas maiores proporções de água residuária doméstica primária em relação às de água de abastecimento (Figura 1). Deve-se ressaltar que os valores de pH dos solos sob os tratamentos T1 a T5 encontram-se dentro das faixas de 5,5 a 6,0 e de 6,1 a 7,0 proposta pela CFSEMG (1999), sendo classificados agronomicamente como bom e alto, respectivamente. As amostras de solo coletas apresentaram redução nos valores de pH com o aumento da proporção de água residuária doméstica primária, provavelmente devido a mineralização do nitrogênio orgânico que

resultou na liberação de íons  $H^+$ . Nos tratamentos T1, T2 e T3 foram observadas as maiores reduções de pH, enquanto nos tratamentos T4 e T5 foram encontrados os maiores valores de pH (Figura 1a). Na profundidade de 0,10 m foram observados os menores valores de pH evidenciando ligeiro aumento de pH com a profundidade, com exceção do tratamento T5 que recebeu somente aplicação da água de abastecimento. Esses resultados corroboram com os obtidos por Boeira et al. (2002) que constaram reduções lineares nos valores de pH, em Latossolo incubado durante 105 dias, mediante distintas dosagens de lodo de esgoto, nessas condições esse atributo afeta a disponibilidade de nutrientes e de metais pesados às plantas. Comportamento semelhante também foi apresentado por Lima et al. (2013), onde no solo com a aplicação de água residuária de laticínios, ocorreu um ligeiro aumento do pH com a profundidade do solo, devido, provavelmente, à lixiviação de sais pela elevada taxa de aplicação do efluente. Duarte et al. (2008) verificaram que o tipo de tratamento da água residuária interfere nos valores de pH dos solos fertirrigados com efluentes. Os teores de zinco no solo apresentaram valores semelhantes ao longo das profundidades, enquanto houve ligeiro incremento no tratamento T2, corroborando com Al-Nakshabandi et al. (1997) que também obtiveram aumento do zinco em solo irrigado com esgoto doméstico tratado. Os teores de zinco no solo oscilaram de 0,28 a 0,39  $mg\ dm^{-3}$ , valores esses inferiores ao limite de 0,40  $mg\ dm^{-3}$ , recebendo a classificação agrônômica muito baixa (CFSEMG, 1999). Além disso, esses valores foram inferiores o limite de 300  $mg\ kg^{-1}$  estabelecido pela Resolução Conama nº 420/2009 (Brasil, 2009) para prevenção da contaminação do quanto à presença de substâncias químicas. Na Figura 1b evidenciou-se que os teores de zinco foram maiores no tratamento T2 devido ao maior aporte de zinco oriundo da mistura da água residuária doméstica primária com a água de abastecimento. Resultados semelhantes foram apresentados por Freitas et al. (2004) que obtiveram aumento de 860% nos teores de zinco de solo fertirrigado com água residuária da suinocultura em relação a solo irrigado com água de abastecimento. Semelhantemente Azevedo e Oliveira (2005) notaram aumento nos teores de zinco no solo que recebia a aplicação de água residuária.

Na Figura 1c observou-se que os teores de cobre aumentaram em todos os tratamentos quando as profundidades 0,10 e 0,30 m são comparadas. Essa fato se deve ao efeito da lixiviação e do menor teor de argila na profundidade de 0,10 m (0,10  $kg\ kg^{-1}$  apresentado na Tabela 1), enquanto na profundidade de 0,50 m os teores de cobre reduzem em função adsorção pela argilas presentes em maior quantidade (0,47  $kg\ kg^{-1}$  apresentado na Tabela 2). Os valores de cobre variaram de 0,13 a 0,17  $mg\ dm^{-3}$ , recebendo a classificação agrônômica muito baixa pois tais valores são inferiores ao valor limite de 0,3  $mg\ dm^{-3}$  (CFSEMG, 1999). Ressalta-se que esses valores foram inferiores o limite de 60  $mg\ kg^{-1}$  estabelecido pela Resolução Conama nº 420/2009 (Brasil, 2009) para prevenção da contaminação do quanto à presença de substâncias químicas. No trabalho realizado por Freitas et al. (2004) constatou-se aumento considerável da concentração de cobre em solo fertirrigado com água residuária da suinocultura, devido a presença desse nutriente na ração dos suínos, que por apresentarem baixa eficiência alimentar liberam grandes aportes nos dejetos.

Os valores de manganês oscilaram de 21,4 a 26,7  $mg\ dm^{-3}$ , sendo superiores ao limite de 12  $mg\ dm^{-3}$  estabelecido por CFSEMG, 1999, recebendo, assim, a classificação agrônômica alta. A Resolução Conama nº 420/2009 (Brasil, 2009) não apresenta valores de prevenção da contaminação por manganês. Houve ligeiro aumento dos teores de manganês na camada superficial do solo em todos os tratamentos, além de tendência de redução desses valores com as profundidades (Figura 1d). Segundo Novais et al. (2007), a disponibilidade de manganês no solo depende tanto do pH quanto do potencial redox, onde, para valores de pH superiores a 5,5 o manganês torna-se menos disponível na solução do solo e para as plantas.



**Figura 1.** Valores de pH (a), Zn (b), Cu (c) e Mn (d) do solo irrigado com as proporções de água residuária doméstica primária e água de poço.

**Nota:** T1 (100% de ART e 0% de AP); T2 (75% de ARP e 25% de AP); T3 (50% de ARP e 50% de AP); T4 (25% de ARP e 75% de AP); e T5 (0% de ARP e 100% de AP).

## 4. CONCLUSÕES

Os teores de cobre, zinco, ferro e manganês do cambissolo não foram influenciados pelas proporções de água residuária doméstica tratada e de água de poço, devido ao baixo aporte de elementos traço nas águas utilizadas na irrigação das parcelas.

Os valores de pH do cambissolo apresentaram tendência de redução nas proporções com mais água residuária doméstica tratada em relação a água de poço, pois o maior aporte de matéria orgânica propicia a liberação do íon hidrogênio que causa acidificação.

Houve maior retenção do manganês na camada de solo de 0 a 0,20 m, enquanto para o cobre a maior concentração ocorreu na camada de 0,20 a 0,40 m.

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao Banco do Nordeste do Brasil (BNB) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

## 6. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.** Roma: FAO, 2006. 298p.



- AL-NAKSHABANDI, G. A.; SAQQAR, M. M.; SHATANAWI, M. R.; FAYYAD, M.; AL-HORANI, H. Some environmental problems associated with the use of the wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 81-94, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774\(96\)01287-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-3774(96)01287-5)
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington, 2012. 1496p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229** - Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993. 15p.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Traduzida por GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMACENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).
- AZEVEDO, L. P.; OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 253-263, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100028>
- BATISTA, R. O.; SOUZA, J. A. R.; FERREIRA, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 18-22, 2010.
- BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1639-1647, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002001100016>
- BRASIL. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **A questão da água no Nordeste**. Brasília, 2012. 436p.
- BRASIL. Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 2011a. Disponível em: <[http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Portaria\\_MS\\_2914-11.pdf](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Portaria_MS_2914-11.pdf)>. Acesso em: 29 dez. 2013.
- BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 2011b. Disponível em: <[http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo\\_legislacao.asp?cd=95](http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95)>. Acesso em: 03 ago. 2013.
- BRASIL. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 28 ago. 2013.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998. <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.1998.0287>

- CEARÁ. **Portaria nº 154, de 22 de julho de 2002.** Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Disponível em: <[http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo\\_legislacao.asp?cd=95](http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95)>. Acesso em: 28 mar. 2014.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação.** Viçosa-MG: 1999. 359p.
- DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 302–310, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000300012>
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 2, p. 194-209, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000200014>
- FREITAS, W. S.; OLIVEIRA, R. A.; PINTO, F. A.; CECON, P. R.; GALVÃO, J. C. C. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 120-125, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100013>
- HESPAÑHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 131-158, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200009>
- HESPAÑHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, n. esp., p. 411-437, 2003.
- INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008.** Rio de Janeiro, 2010. 219p.
- LÉON SUEMATSU, G.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias.** Tradução de GHEYI, H. R.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B. S. O.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 109p.
- LIMA, V. I. A.; ALVES, S. M. C.; OLIVEIRA, J. F.; BATISTA, R. O.; PINHEIRO, J. G.; DI SOUZA, L. Desempenho do sistema de tratamento de água residuária de laticínios e os efeitos de sua disposição em Argissolo. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 2, n. 2, p. 93-101, 2013.
- MOURA, F. N.; BATISTA, R. O.; SILVA, J. B. A.; FEITOSA, A. P.; COSTA, M. S. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 1, p. 264-276, 2011.

- 
- NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. Maintenance. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Eds.). **Microirrigation for crop production: design, operation, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2006. Cap. 11, p. 389 - 430.
- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. 1017p.